中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）39(2)：84~95 (1990)

單雜交玉米臺農1號及其父、母本自交系氮素同化與利用性狀對兩種氮肥用量的反應[1]

陳建成[2]　王強生[3]　劉大江[3]

摘要：本試驗以臺農1號及其父、母本自交系為材料，採用氮素用量 60 與 180kg/ha 處理，探討基因型與氮肥用量對乾物質與氮素累積及分配的影響，著重吐絲前與吐絲後的比較，並經由氮素利用效率組成因子分析，解釋產量表現的差異。施用重氮肥明顯增加成熟期植株乾物質與子粒產量，收穫指數有提升趨勢，自交系與雜交種之反應相同。雜交品種於吐絲後生成之乾物量佔總乾物量60%以上，並為子粒產量之1.25倍以上，氮肥用量的作用不明顯，顯示具有充份的同化能力因應子粒充實需要，其表現亦頗穩定。臺農1號父本植株吐絲後累積乾物量為子粒重之1.7倍，顯示產量極端受限於積儲能力，母本之表現則與雜交種相近。低氮肥條件下臺農1號葉片氮素濃度低於父、母本自交系，推測不足以支持高光合作用速率，又父本營養及生殖器官氮素濃度極高，與其積儲強度較弱有關，但雜交種子粒碳氮比值顯著較父、母本為高，顯示三個基因型子粒累積碳素與氮素的相互配合速率應有不同。臺農1號植株每公頃累積氮素量最高可達 230 kg以上，氮素收穫指數為0.67-0.71，後者不受氮肥用量影響；臺農1號母本植株之氮素收穫指數僅為 0.47-0.52，但氮素分配於苞葉與穗軸比率顯著超過父本及雜交種植株，顯示父、母本在碳素及氮素利用方面的差異。臺農1號吐絲後累積氮素量為總含量之60%以上，並與子粒含氮量相近，亦即具有旺盛的氮素同化能力；父、母本自交系吐絲後累積氮素量為總含量之 26-51%，且父本之累積量僅為子粒氮含量之41-73%，氮素同化能力可能限制產量表現。玉米氮素利用效率以雜交種最高，主要的影響因子為氮素吸收效率及子粒內單位氮量之對應乾物生成量，氮素吸收效率因氮肥用量增多而降低，可供今後品種選育之參考。

氮素為作物生長必需的營養要素，與產量表現有密切的關係；玉米屬 C_4 型植物，具有較高的氮素利用效率，依據 Ku *et al.*[15] 與 Schmitt and Edwards[23] 的報告，與 C_3 型或部份其它 C_4型植物比較，玉米葉片可利用較少的蛋白質進行與乾物質生產有直接關係之光合反應，但仍維持極高的乾物質生產能力。唯不同基因型玉米的氮素利用效率有所差異[11,13]，而且在經濟栽培時如欲獲得高產，仍應多施氮肥，顯示玉米為需肥頗重之作物；在氮肥需要量及將所吸收之氮素表現於產量的效率方面，品種間的差別亦大[9]，在實際栽培時，均為值得注意的問題。

部份玉米品種吐絲期時已累積最終含氮量之80% 以上，子粒充實對再轉移性氮素的依賴度極高

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第1507號。本試驗承行政院農業委員會補助（計畫78農建-7.1-糧-24-4），謹致謝意。本文為第一作者碩士論文之一部份。

2.國立中興大學農藝學研究所研究生，現為本所農藝系約聘技術員。

3.分別為本所農藝系助理研究員與研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

[23]，有些品種吐絲期植株含氮量則僅為成熟期總含量之半，子粒充實所需氮素主要由根部吸收供應[9]，兩類型品種的生理特性有異，產量潛能亦以後者為優。玉米子粒累積氮素與碳水化合物之間也有密切的平行關係，因此植株供應氮素與子粒累積氮素的能力是決定產量的重要因子[33]；就同一品種而言，果穗累積氮素量多者，其子粒產量亦高。依據 Moll *et al.*[18] 的研究，氮素利用效率（N use efficiency）可再被區分為氮素吸收效率（N uptake efficiency）與氮素應用效率（N utilization efficiency），並可各予區分為細部組成因子，用以判別玉米品種對氮素的利用能力，以及針對氮素的產量效率（yield efficiency）表現。Kamprath *et al.*[13] 與 Moll *et al.*[18] 並據以提出改良品種氮素利用效率的建議。

氮素利用效率受品種與栽培條件的影響，本省飼料玉米的栽培方法與制度雖已建立，但對新育成品種在不同栽培條件下吸收氮素與應用氮素於子粒生產的內在生理性狀仍然缺少充份的瞭解。本項研究利用新育成之推廣品種臺農1號為材料，施以兩種氮肥用量處理，經由分析植株各器官累積氮素的量與速率，計算氮素利用效率及其組成因子，同時比較父、母本自交系之表現，藉以對玉米產量生理有進一步的瞭解。

材料與方法

本試驗於1988年秋作在本所農場進行，於9月17日播種，播種時每穴播兩粒種子，出土後間拔留一株；播種後施用萌前殺草劑 Primextra(3.5 L a.i./ha)防治雜草。植株生長至齊膝期時中耕培土，生育期間多次施用農藥防治病蟲害，適時灌溉，並按慣行法行田間管理。秋作試驗進行前採取土壤樣品，委請本所農業化學系分析土壤肥力，其土質屬坋質壤土（SiL），pH 值 5.75，有機質 2.13%，CEC 為 7.8 meq/100g，銨態氮 13.3 ppm，硝酸態氮 16.8 ppm，有效性磷（Bray 1）16 ppm，有效性鉀（Mehlich）106 ppm。

氮肥試驗係以臺農1號單雜交品種及其父本自交系 TA3651—377 與母本 TA2808—176 為材料，栽培之行株距為 75×20 cm，合每公頃 66,666 株，氮素（N）用量分兩個等級，即 60 與 180 kg/ha，磷、鉀肥用量為 $P_2O_5:K_2O=90:100$ kg/ha，氮肥（硫酸）銨之 40%與半量之磷肥（過磷酸鈣）及鉀肥（氯化鉀）各於播種時以基肥及播種後 25 日以追肥施用，其餘 20%氮肥於播種後 45日用為第二次追肥。試驗小區均為 8 行區，行長 6m，面積 36m²，重複 3 次，採用逢機完全區集設計。

各試區均於吐絲期、吐絲後 36 與 56 日及成熟期取樣，共為四次。每次自每小區逢機選取 6 株為樣品，自土面收穫地上部，區分為葉片、莖稈、雄穗、苞葉與穗部，於送風乾燥箱中乾燥，再將穗部分為穗軸及子粒，秤量乾物重後以 Wiley mill 經 40 目（mesh）篩磨粉，貯藏於附內蓋之 PE 塑膠瓶中供化學分析之用。

乾物重測定係將樣品於送風乾燥箱中以100°C 烘乾 2 hr，繼以 80°C 烘乾至完全乾燥（約48—72 hr）後秤量之。全氮依 semi-micro Kjeldahl 法分析。又利用植株乾重與氮素濃度乘積計算氮素含量後，依據 Moll *et al.*[19] 之下列公式估算氮素利用效率；在考慮氮素供應量時，僅注重施用之氮素肥料量，而未慮及土壤本身之氮素供應能力，為採用下列公式的一項先決條件。

$$Kw/Fs=Nm/Fs\bullet Kw/Nm$$

$$Kw/Nm=Kw/Kn\bullet Kn/Nm$$

$$Kn/Nm=Na/Nm\bullet Kn/Na$$

$$\therefore Kw/Fs=Nm/Fs\bullet Kw/Kn\bullet Na/Nm\bullet Kn/Na$$

其中 Kw 為子粒產量，Fs 為施用之氮素肥料量，Nm 為成熟期植株地上部總含氮量，Kn為子粒內氮素含量，Na 為吐絲至成熟期間植株所累積之氮量，所使用之單位統一為 g/plant 或 kg/ha。Kw/Fs 即為氮素利用效率，Nm/Fs 稱為氮素吸收效率，Kw/Nm 為氮素應用效率，Kn/Nm為氮收穫指數，Na/Nm 表示子粒充實期間植株累積氮量與成熟期總含氮量之比值，Kn/Na 表示子粒含

氮量與子粒充實期間植株累積氮量之比值，Kw/Kn 爲子粒重與子粒含氮量比值。

測定與分析結果均經變方分析，並以鄧肯氏多變域法(Duncan's New Multiple Range Test)比較處理間之差異性。

結果與討論

氮肥用量對玉米乾物質生產與分配的影響

以臺農 1 號品種及其父、母本爲材料，施以兩種氮肥用量 (60 與 180 kg N/ha) 處理，測定乾物重的結果列於表 1。吐絲期臺農 1 號葉片、莖稈與全株總乾重均隨氮肥用量增加而提高，但苞葉與穗軸之差異不顯著。成熟期則除葉片外，氮肥用量對其他器官與全株總乾重均有正的效應存在；低肥處理時臺農 1 號植株總乾重與子粒產量分別爲 12.35 與 5.59 t/ha，重肥處理爲 18.65與 9.63 t/ha，以後者較高。玉米之乾物質生產表現對氮肥的反應雖因品種而異，但一般皆隨施用量的增加而提高[7]。由於重肥處理顯著增加臺農 1 號之葉片重量(表 1)與葉面積(資料未列出)，有利於對光能之利用，應與全株乾物產量增加有密切關係[20,35]。Remison and Fajemisin[22] 測定氮素對玉米雜交與合成品種乾物質生產能力的影響，發現前者在 75 kg/ha 及後者在 150 kg/ha 時能有最高之乾物產量；Anderson *et al.*[4] 除證明氮肥用量對玉米乾物質生產的重要性外，同時建議多穗型品種在重氮肥條

Table 1. Influence of fertilization on the dry weight of different plant organs of Tainung 1 corn hybrid and its paternal inbred TA3651—377 and matternal inbred TA2808—176 at silking and maturity

Variety	N Rate	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Kernel		Whole Plant	
	kg/ha	g/plant				g/plant	t/ha	g/plant	t/ha
Silking									
Tainung 1	60	21.7 b*	40.4 b	3.3 c	1.5 b	—	—	66.9 bc	4.46 bc
	180	27.0 a	52.4 a	5.6 bc	2.8 b	—	—	87.8 a	5.85 a
TA3651—377	60	15.2 c	28.9 bc	3.1 c	1.4 b	—	—	48.6 d	3.24 d
	180	17.3 c	35.7 bc	5.2 bc	2.5 b	—	—	60.8 cd	4.05 cd
TA2808—176	60	16.4 c	24.0 c	6.3 b	2.6 b	—	—	49.3 d	3.29 d
	180	25.2 a	40.0 b	11.4 a	6.4 a	—	—	82.9 a	5.53 ab
Maturity									
Tainung 1	60	29.7 a	45.4 b	11.5 b	14.6 c	83.9 b	5.59 b	185.2 b	12.35 b
	180	33.6 a	62.9 a	17.4 a	21.4 b	144.5 a	9.63 a	279.8 a	88.65 a
TA3651—377	60	13.3 c	31.5 cd	8.1 c	14.2 c	26.9 d	1.73 d	92.9 c	16.19 c
	180	20.4 bc	48.7 b	12.0 b	25.8 a	59.6 c	3.97 c	196.4 b	11.09 b
TA2808—176	60	14.1 c	24.7 d	12.0 b	8.4 d	45.1 c	3.01 c	104.3 c	6.95 c
	180	22.1 b	41.3 bc	18.7 a	14.9 c	80.1 b	5.34 b	177.0 b	11.80 b

*Means with the same letter within a column of an individual developmental stage are not signi-fic antly different at 5% leAel by Duncan's New Multiple Range Test.

件下能有最高之反應。在國內 Lian[17] 探討氮肥用量對臺農 351 號品種之影響，發現春作施肥量自70 增加至 210 kg N/ha 及秋作自 100 增加至 300 kg N/ha 時，作用並不明顯，春作與秋作的乾物產量分別爲 10 及 15 t/ha 左右；Wang *et al.*[34] 認定臺農 351 號爲需肥量頗高的品種，建議在栽培時應注意土壤肥力與氮素用量的適度配合，臺農 1 號品種也有相同的表現。

臺農 1 號父本（TA3651—377）吐絲期各器官與全株乾重對氮肥用量均無反應，但成熟期除葉片外，於處理間的差異均達顯著水準；母本自交系（TA2808—176）的表現較不相同，無論吐絲期或成熟期，各器官與全株乾重均隨氮肥用量提升而增加，與臺農 1 號的表現趨勢較爲相近（表 1）。父本自交系於低肥處理之子粒產量爲 1.73 t/ha，重肥時爲 3.97 t/ha，僅爲臺農 1 號之三分之一左右，母本自交系於低、重肥處理之子粒產量分別爲 3.01 與 5.34 t/ha，雖低於臺農 1 號，但仍顯著高於父本自交系（表 1）。Balko and Russell[5] 研究氮肥對10個玉米自交系的影響，報告與不施氮肥比較，施用 60 kg N/ha時有顯著的增產效果，但再增加氮素用量至 120 或 180 kg/ha 的效應則多不顯著，與本試驗氮素用量 180 kg/ha 仍可增加乾物及子粒產量的結果有異，推測爲基因型不同所致，此外，環境因子也可能具有影響，Balko and Russell[5] 即曾指出基因型與地區及氮素用量均有交感作用存在。

當氮肥用量由 60 增加至 180 kg N/ha 時，臺農 1 號及其父、母本植株吐絲期葉片乾重佔全株乾重比值均有下降趨勢，但以父本 TA3651—377 的表現最明顯；苞葉與穗軸比率亦有隨之增高的傾向，唯僅於部份基因型內達到顯著水準。於基因型間比較，母本 TA2808—176 莖稈所佔比率最低，苞葉及穗軸所佔比率則最高。氮肥用量對成熟期植株乾物質分配的影響亦不明顯，僅有之例外爲臺農 1 號之葉片與子粒及父本之莖稈。在收穫指數方面，臺農 1 號之低肥與重肥處理分別爲 0.453 與 0.516，以後者較高，母本之指數分別爲 0.432與 0.453，低肥情況下與雜交種較爲接近，但父本最低，低肥與重肥處理僅及 0.279 與 0.358（資料未列出）。

氮肥用量對玉米吐絲後乾物質生產能力的影響

玉米植株於吐絲後（子粒充實期間）累積乾物量（Da）與吐絲期與成熟期乾重（分別爲 Ds 與 Dm）及子粒產量(Kw)的比值列於表 2；氮肥施用量爲 60 及 180kg N/ha 時，臺農 1 號 Da/Ds 比值分別爲 1.77 與 2.19，父本 TA3651—377爲 0.91 與 1.74，母本 TA2808—176 爲 1.12 與 1.14，同一氮肥處理以臺農 1 號較高，除母本外，並均隨氮肥用量增加而升高。Da 與成熟期全株乾重比值(Dm)代表玉米植株吐絲後乾物生產量的比重，三個基因型的比值較爲接近，但低肥時仍以臺農 1 號最高（0.64），父、母本分別爲 0.48 與 0.53，兩者之間差異不顯著；重肥處理可提升父本植株 Da/Dm 值，但對母本及臺農 1 號無影響。Da 與子粒乾物重的比值可做爲依源能力的一種表示，臺農 1

Table 2. Ratio of whole-plant dry matter accumulated during kernel-filling (Da) to kernel weight (Kw) and whole plant dry weights at silking (Ds) and maturity (Dm) for corn plants subjected to two levels of N fertilization

Genotype	N Supplied (kg/ha)	Da/Ds	Da/Dm	Da/Kw
Tainung 1	60	1.77 b*	0.64 a	1.41 b
	180	2.19 a	0.69 a	1.33 b
TA3651—377	60	0.91 d	0.48 b	1.71 a
	180	1.74 b	0.64 a	1.77 a
TA2808—176	60	1.12 c	0.53 b	1.22 c
	180	1.14 c	0.53 b	1.18 c

*Mean with the same letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

號 Da/Kw 值爲 1.41 與 1.33，父本之 Da/Kw 值高達 1.7，母本較低，爲 1.2 左右，基因型間的差異顯著，但處理間表現則頗爲一致（表 2）。

臺農 1 號品種與父本植株 Da/Ds 比值均有隨施肥量增加而提高的趨向（表 2），顯示具有較高的相對生長速率；在 Da/Dm 比值方面，臺農 1 號均在0.6以上，亦即玉米總乾物產量的60%係於吐絲以後合成，顯示子粒充實過程中的同化作用極爲重要； Genter *et al.*[10] 與王等[1] 均有幾乎完全相同的報告，Tsai[30] 的試驗則發現此一比值最高可達65% ； 但范[3] 於秋作在桃園地區栽培臺農351號品種，指出吐絲後之乾物生成量僅佔最終總乾物量之40% ， 可能爲子粒充實期間不良環境因子（如季節風）的影響所致。有關氮肥用量對 Da/Dm 值的影響方面 ， 於同一基因型內多未發現顯示此一性狀的表現頗爲穩定。

至於 Da 與子粒乾重（Kw）的比值，可用以粗估玉米吐絲後現行同化產物與子粒充實需求間的平衡關係；各基因型間表現雖有不同，但處理間的差異則不顯著，顯示在本試驗條件下，氮肥用量並不能改變植株供源與積儲間的關係。各處理所得結果在 1.18-1.77 之間，顯示供源能力超過積儲需求，可爲實際栽培時之參考；其中父本之 Da/Kw 值爲所有處理中之最高者，此一結果固然表示吐絲後有過盛的同化能力，但由於父本之收穫指數僅爲 0.28-0.36（由表 1 計算），Da/Kw 比值因子粒產量低落而升高，因此並不能代表產量的潛能。有關玉米產量受限於供源或積儲，國內外學者的研究結果並無定論 ， 例如改變供源能力可影響子粒產量， 顯示供源能力可能不足[8,12,24,29]，又如降低供源能力並不影響產量，或增大積儲容量可達增產效果 ， 又顯示積儲的可能限制作用[14,19,26,32,35]。本試驗的主要目的雖不在於比較積儲與供源對玉米產量限制的重要性，但由於 Da/Kw 值多在 1.0 以上，臺農 1 號更高達 1.77—2.19（表 2），推測應仍具有充份的供源能力。

氮肥用量對玉米植株氮素累積與分配的影響

氮肥用量對臺農 1 號品種及其父、母本植株各器官氮素濃度的影響列於表 3 。一般而言，濃度多隨氮肥用量增加而升高，但絕對值稍低於以往之試驗結果[2]。氮肥用量爲 180 kg N/ha 時臺農 1 號吐絲期葉片氮素濃度爲 2.60%，估算含量約爲 1.3 g N/m^2，與 Sinclair and Horie[29] 所稱，在 0.2—1.2 g N/m^2 的範圍內及光量不爲限制因子的條件下，玉米葉片光合速率呈直線增加的論點比較，應已具有理想的氮素營養；低肥處理葉片氮素濃度爲 1.66%，約合 0.83g N/m^2，含量頗低，可能不足以支持旺盛的光合作用。成熟期葉片氮素濃度明顯下降，莖稈、苞葉與穗軸也有相同的表現，應爲轉移至發育中子粒供充實之需的結果[27,31]，在兩種氮肥處理均有相同表現。

Table 3. Influence of N fertilization on the N concentration (%, db) in different plant organs of Tainung 1 and its paternal inbred TA3651—377 and maternal inbred TA2808—176 at silking and maturity

Variety	N Supplied (kg/ha)	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Kernel
		Silking				
Tainung 1	60	1.66 d*	0.44 b	1.10 b	2.60 c	—
	180	2.60 b	10.5 b	1.36 a	2.81 b	—
TA3651—377	60	2.43 b	0.54 b	1.31 a	2.86 b	—
	180	2.91 a	0.79 a	1.32 a	3.00 a	—
TA2808—176	60	1.99 c	0.48 b	0.87 c	1.93 e	—
	180	2.51 b	0.56 b	1.09 b	2.00 d	—

（續）

Variety	N Supplied (kg/ha)	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Kernel
			Maturity			
Tainung 1	60	0.99 d	0.28 c	0.27 d	0.65 d	1.16 e
	180	1.44 b	0.39 b	0.36 c	0.84 c	1.39 d
TA3651—377	60	1.48 b	0.41 b	0.46 b	0.86 c	1.68 b
	180	2.24 a	0.52 a	0.62 a	1.15 a	2.08 a
TA2808—176	60	1.19 c	0.33 c	0.30 d	0.88 c	1.60 c
	180	1.36 b	0.42 b	0.45 b	1.06 b	1.72 b

*Means with the same letter within a column of an individual developmental stage are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

本試驗中最特殊之處爲父本自交系 TA3651—377 各器官之氮素濃度較其餘兩個供試基因型爲高，例如吐絲期之葉片、莖稈（重肥處理）、苞葉(低肥處理）與穗軸部位，父本濃度均顯著超過母本及雜交種(表 3)；而成熟期的差距幅度更大，以臺農 1 號重肥處理之濃度值爲基準，父本葉片、莖稈與穗軸之濃度較其高出 56、33 及 37 %，苞葉更達72%；母本器官濃度雖於部分處理或部位亦超過雜交種，但幅度較小。臺農 1 號成熟子粒氮素濃度在低、重肥處理分別爲 1.16 與 1.39%，母本爲 1.60與 1.72%，較臺農 1 號同處理爲高；低肥區父本子粒氮素濃度 1.68%，重肥區更達 2.08%，極顯著超過臺農 1 號及其母本（表 3）。

上述父本植株氮素濃度特高的現象極可能爲其遺傳特性，但由三個基因型間子粒產量漸高而各器官氮素濃度漸低的事實判斷，也有可能爲積儲强度較弱（子粒產量低）而使氮素於其他器官累積的結果。又由父、母本子粒氮素濃度均顯著超過其雜交種觀之，子粒累積碳素與氮素的相互配合速率應有不同，Tsai *et al.*[32] 即曾由 zein 蛋白質爲玉米子粒氮素積儲（N sink）的觀點討論與產量的關係及基因型間的差異；有關比較自交系與雜交種子粒氮素濃度間關係的研究報告不多，但Tsai[30] 利用高蛋白質與低蛋白質濃度玉米品系行正反交，前者具較低之 C/N 比值，後者則較高，發現 F_1 族羣的 C/N 值與母本相近，而 F_1 植株經自交後，所得單穗子粒未顯示分離現象，但其值介於兩個自交系親本之間；本試驗中以 180 kg N/ha 處理爲例，臺農 1 號及其父、母本之子粒 C/N 比值分別爲28.7、19.2與23.3（資料未列出），顯示雜交種的 C/N 值高於父本及母本，其間的確實關係及意義仍需更多的試驗予以究明。

氮肥用量對玉米植株各器官氮素含量影響的結果列於表 4；三個基因型的氮素含量隨施肥量之增加而提高，但基因型間有很大的差別，在低肥條件下，吐絲期臺農 1 號及其父、母本自交系的全株累積量並無差異，每公頃累積量爲 35.5-41.1 kg/ha，重肥時父本累積量（60.5 kg/ha）則顯著低於母本（73.7 kg/ha）及雜交種（74.9 kg/ha）；成熟期的表現又有不同，各處理均以雜交種爲高（重肥與低肥處理分別爲 233.7 與 134.5 kg/ha），而重肥條件下母本自交系的氮素含量（150.9 kg/ha）又高於父本自交系（118.2 kg/ha）。基因型間子粒氮素含量的變化趨勢與全株的表現大致相同，雜交種臺農 1 號子粒最多可累積 165.3kg/ha 之氮素，爲父、母本之兩倍以上。

在氮肥用量對玉米植株所含氮素於各器官分配比率的影響方面（資料未列出），吐絲期葉片與莖稈所佔比率均在 80%以上，成熟期之比率除母本爲 31-35%外，臺農 1 號及父本植株均在27%以下。除極少數例外，無論在吐絲期或成熟期，氮肥用量於同一基因型內對植株總含氮量分配於各器官的比率並未產生顯著影響。臺農 1 號成熟期子粒含氮量爲植株總含氮量之 66-72%，亦即氮素收穫指數爲

Table 4. Amounts of N accumulated in different plant organs of Tainung 1 and its paternal inbred TA3651—377 and maternal inbred TA2808—176 at silking and maturity as affected by two levels of N fertilization

Variety	N Rate	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Kernel		Whole Plant	
	kg/ha	mg/plant				mg/plant	kg/ha	mg/plant	kg/ha
					Silking				
Tainung 1	60	363 c*	177 bc	37 c	40 c	—	—	616 c	41.1 c
	180	706 a	263 a	76 b	79 b	—	—	1,123 a	74.9 a
TA3651—377	60	369 c	155 cd	41 c	41 c	—	—	605 c	40.3 c
	180	503 b	263 a	68 bc	74 bc	—	—	908 b	60.5 b
TA2808—176	60	324 c	113 d	45 bc	50 bc	—	—	532 c	35.5 c
	180	631 a	224 ab	124 a	27 a	—	—	1,105 a	773.7 a
					Maturity				
Tainung 1	60	358 ab	152 b	36 b	129 c	1,343 b	89.5 b	2,017 bc	134.5 bc
	180	459 a	264 a	77 a	226 b	2,480 a	165.3 a	3,506 a	233.7 a
TA3651—377	60	140 c	68 c	32 b	55 d	524 c	34.9 c	818 d	54.5 d
	180	317 b	154 b	67 a	124 c	1,112 b	74.1 b	1,773 c	118.2 c
TA2808—176	60	195 c	126 bc	38 b	121 c	430 c	28.7 c	910 d	60.7 d
	180	458 a	251 a	74 a	297 a	1,183 b	78.9 b	2,264 b	150.9 b

*Means with the same letter within a column of an individual development stage are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Rane Test.

0.66—0.72，在氮肥處理間甚爲穩定，雖然父本的子粒產量最低，氮素收穫指數（0.63—0.64）則與雜交種相近，母本的子粒產量雖遠超過父本，指數却僅爲 0.47—0.52。臺農 1 號氮素收穫指數與 Anderson *et al.* [4] 及 Tsai [30] 的結果相似；Tsai [30] 以氮肥處理調節玉米供源能力，指出氮素收穫指數隨施肥量增加而降低，推測其原因，應仍與氮素自營養器官轉移至子粒及子粒積儲對氮素的需求强度有關，換言之，在疏植與重肥條件下，氮素供源能力較高，相對的積儲容量成爲氮素累積的限制因子，與前述乾物質方面的表現有相似之處。

氮肥用量對玉米植株於子粒充實期間累積氮素能力的影響列於表 5，臺農 1 號吐絲後植株所累積氮量（Na）與吐絲期植株含氮量（Ns）之比值爲 2.12—2.27，Na 與成熟期植株總含氮量（Nm）的比值爲 0.68—0.70，Na 與子粒含氮量（Kn）的比值爲 0.96—1.04，均不受施肥處理的影響。父本與母本對氮肥的反應與雜交種臺農 1 號不同，最主要的區別爲 Na/Ns、Na/Nm 及 Na/Kw 比值隨氮肥用量自 60 增至 180kg N/ha 而升高，例如父、母本之 Na/Nm 值分別自 0.26 提高至 0.49 與自 0.42 提高至 0.51（表 5），表示重肥條件下，兩個自交系可於吐絲後累積更多的相對氮素量。

臺農 1 號植株 Na/Nm 比值最高爲 0.70，亦即總含氮量的 70% 係於吐絲後同化，表現極高的氮素同化能力，遠較本研究室其他試驗及其他學者 [2,30] 的結果爲高，其代表性應再確定。一般而言，此一比值多在0.5以下，如與氮素收穫指數爲 0.6—0.7 比較，顯示吐絲後的同化量不足以供應子粒充

實之需，而有氮素再轉移的現象發生[25]。目前已有許多報告指出玉米雜交種間於吐絲後的氮素吸收能力有別[6,21,33]，而且高產的雜交種能於子粒充實期間吸收較多量的氮素，以因應子粒發育的需要，反之，低產品種於吐絲後對氮素的需求程度則較低。Na 與子粒氮素含量（Kn）的比值可用以說明子粒充實期間的氮素供需平衡關係，多數品種的比值均低於 1，亦即營養器官於吐絲前所累積之氮素對子粒充實具有相當的重要性；Schrader[25] 認爲再轉移性氮素佔玉米子粒內氮素量之比率最高可達84%，此一數值雖有偏高的可能，但足以說明其重要性。在氮肥試驗中發現臺農 1 號的 Na/Kn 值隨氮肥施用量增加而下降（表 5），其反應與疏植情況下的結果相同[2]，Tsai[30] 也曾有類似的報告。

Table 5. Ratio of N amount accumulated by the whole plant during kernel-filling (Na) to kernel N content (Kn) and N contents ofwhole plant at silking (Ns) and maturity (Nm) for corn plants subjected to two levels of N-fertilization

Genotype	N Supplied (kg/ha)	Na/Ns	Na/Nm	Na/Kn
Taiunng 1	60	2.27 a*	0.70 a	1.04 a
	180	2.12 a	0.68 a	0.96 a
TA3651—377	60	0.35 d	0.26 c	0.41 c
	180	0.95 b	0.49 b	0.7 b
TA2808—176	60	0.71 c	0.42 b	0.88 ab
	180	1.05 b	0.51 b	0.98 a

*Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

氮肥用量對玉米氮素利用效率組成因子的影響

表 6 爲氮肥用量對玉米氮素利用效率組成因子影響的結果；子粒產量（Kw）與施用氮素肥料量（Fs）之比值即爲氮素利用效率，本試驗中 Kw/Fs 皆隨氮肥用量增多而降低，三個基因型的表現一致；成熟期植株總含氮量（Nm）與 Fs 之比值爲氮素吸收效率，亦以低肥處理爲高，差異並極顯著；雜交種臺農 1 號上述兩項比值均顯著超過父、母本自交系。Kw 爲子粒乾物量，Kw/Nm 代表植株所含氮量之相對子粒產量，稱爲氮素應用效率，除母本植株以低肥處理爲高外，其餘未顯示處理效應。低氮肥處理植株單位氮素含量的相對子粒產量（Kw/Nm）與總乾物產量（Tw/Nm）及子粒產量與子粒含氮量之比值（Kw/Kn）均以母本最高(分別爲 49.6、105.0 與 114.6)，臺農 1 號（Kw Nm 與 Kw/Kn）或父本（Tw/Nm）居次。氮素收穫指數（Kn/Nm）以父本及雜交品種較高（0.63—0.71），母本僅爲 0.47—0.52；另一項明顯的差異爲 Na/Nm，臺農 1 號高達 0.68—0.70，母本較低（0.42—0.51），且氮肥處理間無差異，父本則最低（0.26—0.94），並以重肥處理較高。綜合而言，多項氮素利用效率之組成因子或對氮肥用量不具反應，或以重肥處理爲高，而基因型間之差別以低肥處理最爲明顯。

依 Kw/Fs 定義之氮素利用效率僅爲產量差異的另一種表現方法，並不具特殊意義，唯如細分其組成分，則有助於對植株氮素供需平衡及與子粒產量間關係的瞭解[18]。氮素利用效率可分爲氮素吸收效率（Nm/Fs）及應用效率（Kw/Nm）兩項主要成分，本試驗中處理間的 Kw/Nm 值多無差異，表示植株所含每一單位氮素的子粒生產能力相近；除母本植株於低肥處理之 Kw/Nm 值較高外，父、母本自交系的 Kw/Nm 值均低於其雜交種，亦即基因型間具有差異，Kamprath *et al.*[13] 也曾於玉米氮肥試驗中有相同的報告，並據以解釋改良族羣增產的原因。

Table 6. Components of N use efficiency* of Corn hybrid Tainung 1 and inbreds TA3651—377 and TA2808—176 subjected to two levels of N-fertilization

Genotype	N Supplied (kg/ha)	Kw/Fs	Nm/Fs	Kw/Nm	Kw/Kn	Kn/Nm	Na/Nm	Kn/Na	Tw/Nm
Tainung 1	60	93.2 a**	2.24 a	41.6 b	62.4 b	0.67 a	0.70 a	0.96 c	91.9 b
	180	52.5 b	1.30 bc	41.2 b	58.3 bc	0.71 a	0.68 a	1.04 bc	79.8 c
TA3651—377	60	28.8 c	0.91 d	31.7 c	49.5 c	0.64 ab	0.26 c	2.46 a	113.5 a
	180	22.1 c	0.66 e	33.6 c	53.6 c	0.63 b	0.49 b	1.29 b	93.8 b
TA2808—176	60	50.2 b	1.01 cd	49.6 a	100.0 a	0.47 c	0.42 b	1.14 b	114.6 a
	180	29.7 c	0.84 de	35.4 c	67.7 b	0.52 c	0.51 b	1.02 bc	78.2 c

*Kw: kernel yield, Fs: amount of N fertilizer supplied, Nm: total N content in plant at maturity, Kn: kernel N content at maturity, Na: amount of N accumulated by plant after silking, Tw: whole plant dry weight at maturity.

**Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

在氮素吸收效率方面，多數基因型間與氮肥處理間都有顯著差異， 亦即 Nm/Fs 比值爲導致氮素利用效率變異的主要因素。吸收效率易受栽培條件左右，在品種改良方面也有其含義，Moll *et al.* [18] 即認爲在重肥條件下進行育種選拔時，有利於吸收效率的表現， 但對應用效率則未施予任何選拔壓力，此類植株在氮肥供應不足時，子粒產量將甚爲低落。

氮素應用效率可再予區分爲 Kw/Kn 與 Kn/Nm 兩項成分，後者爲氮素收穫指數，前者爲子粒內每一單位氮素的對應子粒產量，兩者在各處理間的差異程度雖多未達顯著水準，但重肥處理略有偏低的趨勢，較低的 Kw/Kn 值（重肥處理及父本自交系）顯示子粒每累積一單位乾物質，需要較多量之氮素配合，此一特性之表現與子粒內 C/N 值有關，亦受基因型與氮素供應的影響[16,30]。由上述各項結果得知，在本試驗條件下，玉米氮素應用效率可能受到 Kw/Kn 與 Kn/Nm 兩項因子的共同影響。

本研究室多年來採用密植及重氮肥處理獲致高產的試驗中，肯定玉米於吐絲後之乾物質生產與氮素累積能力可維持植株旺盛的供源强度，以及證明目前推廣品種之產量仍然受限於積儲容積，但在氮素供需平衡關係對產量生理的作用方面，仍有不能確定之處。Sherrard *et al.* [27] 撰文討論經由育種方式改良玉米氮素利用效率的策略，認爲如欲提高施用氮肥的增產效率，理想的玉米品種應該具有以下各項特性：(1)開花期具有最高的乾物質與還原態氮素含量，(2)開花期莖稈具有最高的硝酸態氮含量，(3)子粒充實期間具有最高的氮素吸收及同化功能，(4)氮素轉移至子粒的速率較高，(5)子粒充實期間的光合成速率較高，及(6)較長的子粒充實期，另一項可能有利的特性爲較高的氮素收穫指數。上述各項條件涵蓋的範圍極爲廣泛，其中可供參考及應用之處頗多，本試驗的部分目標亦與之符合；此外，鑑於臺農 1 號及臺農 351 號都是具有高產潛力的品種，如何經由對相關氮素生理作用影響產量表現方面的瞭解，及探討栽培與環境因子所可能導致的變異結果，以求發揮其產量潛能，有待今後繼續努力。

參考文獻

1. 王强生、曹紹徽、劉大江。1987。栽培密度對玉米乾物質累積之影響。中華農業研究 36：15—28。
2. 王强生、林淑雰、劉大江 。1989。玉米產量及相關生理性狀對栽培密度之反應。刊載於「玉米生理遺傳與育種研討會論文集」（謝旻暐、劉大江、朱德民、黃懿秦合編） 。中央研究院植物研究所專刊第七號。臺北市。

3. 范明仁。1987。玉蜀黍光合成物質生產與分配。國立臺灣大學農藝系博士論文。臺北市。

4. Anderson, E. L., E. J. Kamprath and R. H. Moll. 1984. Nitrogen fertility effects on accumulation, remobilization, and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy. Agron. J. 76 : 397-404.

5. Balko, L. G. and W. A. Russell. 1980. Response of maize inbred lines to N fertilizer. Agron. J. 72 : 723-728.

6. Beauchamp, E. G., L. W. Kannenberg and R. B. Hunter. 1976. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotype following silking. Agron. J. 68 : 418-442.

7. Chevalier, P. and L. E. Schrader. 1977. Genotypic difference in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts. Crop Sci. 17 : 987-991.

8. Egharevba, P. N., R. D. Horrocks and M . S. Zuber. 1976. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. Agron. J. 68 : 40-43.

9. Friedrich, J. W. and L. E. Schrader. 1979. N deprivation in maize during grain-filling. II. remobilization of ^{15}N and ^{35}S and the relationship between N and S accumulation. Agron. J. 71 : 466-472.

10. Genter, C. F., G. D. Jones and M. T. Carter. 1970. Dry matter accumulation and depletion in leaves, stems and ears of maturing maize. Agron. J. 62 : 535-537.

11. Handa, S., H. L. Warren, D. M. Huber and C. Y. Tsai. 1984. Nitrogen nutrition and seedling development of normal and opaque-2 maize genotypes. Can. J. Plant Sci. 64 : 885-894.

12. Hunter, R. B. 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. Crop Sci. 20 : 571-574.

13. Kamprath, E. J., R. H. Moll and N. Rodriguez. 1982. Effects of nitrouen fertilization and recurrent selection on performance of hyrbid populations of corn. Agron. J. 74 : 955-958.

14. Karen, E. K. C. L. Tsui, L. E. Schrader and O. E. Nelson. 1982. Source sink relations in maize mutants with starch-deficient endosperm. Plant Physiol. 70 : 322-325.

15. Ku, S. B., M. R. Schmitt and G. E. Edwards. 1979. Quantitative determination of RuBP carboxylase/oxygenase protein in leaves of several C_3 and C_4 plants. J. Exp. Bot. 30 : 89-98.

16. Lemcoff, J. H. and R. S. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. Crop Sci. 26 : 1017-1022.

17. Lian, S. 1986. Characteristics of corn production in the drained paddies and their fertility managements in Taiwan. Soils and Fertilizers in Taiwan 1986 : 65-92.

18. Moll, R. H., E. J. Kamprath, and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74 : 562-564.

19. Pan, W. L., J. J. Camberato, W. A. Jackson and R. H. Moll. 1986. Utilization of previously accumulated and concurrently absorbed nitrogen during reproductive growth in maize-influence of prolificacy and nitrogen source. Plant Physiol. 82 : 247-253.

20. Pepper, G. E., R. B. Pearce and J. J. Mock. 1977. Leaf orientation and yield of maize. Crop Sci. 17 : 883-886.

21. Pollmer, W. G., D. Eberhard, D. Klein and B. S. Dhilon. 1979. Genetic control of nitrogne uptake and translocation in maize. Crop Sci. 19 : 82-86.

22. Remison, S. U. and J. M. Fajemisin. 1979. Comparative growth of maize cultivars with different leaf orientation. J. Agric. Sci., Camb. 99 : 61-66.

23. Schmitt, M. R. and G. E. Edwards. 1981. Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat, and rice: A comparison between C_3 and C_4 photosynthesis. J. Exp. Bot. 32 : 459-466.

24. Schoper, J. B., R. R. Johnson and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22 : 1184-1189.

25. Schrader, L. E. 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: Nitrogen in Crop Production (R. D. Hauck, ed.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.

26. Setter, T. L. and B. A. Flanningan. 1986. Sugar and starch redistribution in maize in response to shade and ear temperature treatment. Crop Sci. 26 : 575-579.

27. Sherrard, J. H., R. J. Lambert, M. J. Messmer, F. E. Below and R. H. Hageman. 1984. Breeding plant for efficient use of nitrogen. In: Nitrogen in Crop Production (R. D. Hauck, ed.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.

28. Sinclair, T. R. and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. Crop Sci. 29 : 90-93.

29. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short-season environment. Agron. J. 70 : 219-223.

30. Tsai, C. L. 1988. Effect of source and sink manipulation on the nutrient partitioning of maize (*Zea mays* L.). Ph. D. thesis, Purdue University.

31. Tsai, C. Y., D. M. Huber and H. L. Warren. 1978. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. Crop Sci. 18 : 399-404.

32. Tsai, C. Y., D. M. Huber and H. L. Warren. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. Plant Physiol. 66 : 330-333.

33. Tsai, C. Y., D. M. Huber, D. V. Glover and H. L. Warren. 1984. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrids. Crop Sci. 24 : 277-281

34. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu. 1986. Effects of N fertilization on the growth and yield of two maize hybrids. J. Agri. Res. China 35 : 437-448.

35. Yamaguchi, J. 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. IV. Plant traits and productivity of tropical varieties. Soil Sci. Plant Nutr. 20 : 287-304.

Response of Nitrogen Assimilation and Utilization of Corn Hybrid Tainung 1 and Its Parental Inbreds to Two Levels of Nitrogen Fertilization[1]

C. C. Chen[2], C. S. Wang[3] and D. J. Liu[3]

Summary

Corn hybrid Tainung 1 and its parential inbreds were cultured under two levels of N-fertilization (60 and 180 kg N/ha) to study the accumulation and partition of dry matter and N during their growth course. Components of N use efficiency were compared for the interpretation of yield performances. Heavy N-fertilization increased significantly the yields of dry matter and kernel, as well as harvest index at harvest, for Tainung 1 and its parental inbreds. Amount of dry matter produced after silking accounted for over 60% of total dry matter, or at least 1.25 times the dry weight of kernels for Tainung 1 suggesting active assimilation of photosynthates for the demands of kernel-filling. Dry matter produced after silking for paternal inbred of Tainung 1 was equivalent to 1.7 times the dry weight of kernels, implying severe limitation of kernel yield by sink ability. N concentrations of vegetative and reproductive organs of the paternal inbred exceeded those of hybrid Tainung 1 and the maternal inbred. It was suggested that the corresponding rates of accumulating carbohydrates and N by kernels of the three genotypes were different. Total amount of N accumulated by Tainung 1 was as high as 230 kg/ha under heavy N-fertilization. Harvest N index, which was consistent under the experiment treatment, ranged from 0.67 to 0.71. For maternal inbred, the index was onfy 0.47—0.52, while partition rations of N in the husks and cob were significantly higher than those of the other two genotypes. The differences in their post-silking abilities of assimilating C and N was reflected by the differences in C/N ratio of the kernels. The amount of N assimilated by Tainung 1 during kernel-filling accounted for over 60% of total N present at harevst, which was equivalent to the amount of N accumulated by the kernels. A balanced status of N assimilation and demand was therefore suggested. N use efficiency was highest for hydrid Tainung 1 than the two parental indreds. The major influencing factors were N uptake efficiency and the amount of dry matter produced in response to unit N accumulated by the kernel. N uptake efficiency decreased with increasing N-fertilization. Improving the N use efficiency of paternal inbred for possible improvement of hybrid yield performance was proposed.

---

1. Contribution No. 1507 from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was supported in part by a grant from the Council of Agriculture, Executive Yuan, ROC. Part of the thesis submitted by the senior author for partial fulfillment of M. S. degree.

2. Graduate student, Graduate Institute of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung. Presently research assistant, Department of Agronomy, TARI.

3. Respectively, assistant agronomist and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC.